

A decentralizált szivattyús energiatárolás lehetőségeinek GIS-alapú vizsgálata középhegységi környezetben, hazai mintaterületek alapján

SOHA TAMÁS - MUNKÁCSY BÉLA - CSÜLLÖG GÁBOR - HARMAT ÁDÁM - CSONTOS CSABA - TAMÁS LÁSZLÓ - SZABÓ MÁRIA - HORVÁTH GERGELY

Absztrakt

Az időjárástól függően termelő napelemes és szélenergiás alkalmazások rohamos térnyerése szükségessé teszi az energiarendszer működtetésének újragondolását, ezen belül az energiatárolás különféle megoldásainak széles körű alkalmazását. Az e téren eddig elvégzett főleg műszaki szempontú hazai vizsgálatok meghatározóan a nagyobb, centralizált energiatároló rendszerek kialakítására fókuszáltak. Hipotézisünk szerint azonban a kisléptékű egységek létrehozása is megvalósítható lehet magyarországi körülmények között. Ezek jól illeszthetők volnának a térségi összefogással megvalósuló decentralizált energetikai megoldások, és ún. virtuális erőművek mellé, miközben az életciklusra vetített környezeti terhelésük is elfogadható mértékűnek tekinthető. Jelen kutatás fő célja az, hogy három hazai, döntően középhegységi mintaterület potenciálját térinformatikai módszerekkel térképezze fel a decentralizált szivattyús energiatárolás (SZET) szempontjából. A munka során 103 darab, összesen mintegy 1000 ha vízfelületű potenciális víztározó medencét sikerült azonosítani, ami nagyságrendileg 750 MWh villamos energia tárolását tenné lehetővé. Egy ilyen tárolási kapacitás a jelenleg működő összes hazai szélenergiát mintegy kilenc órán keresztül volna képes kiváltani átlagos szélesség és áramtermelés mellett.

Kulcsszavak:

megújuló energiák, szivattyús energiatárolás, GIS

Bevezetés

A 20. században általánosan elterjedt centralizált energiarendszerben a nagy teljesítményű alaperőművek működtetése nagy tárolási kapacitást igényel, és a centralizált megoldásokhoz szokott hazai energetikusok mindvégig kizárólag nagy kapacitású szivattyús tároló megvalósítására fókuszáltak. Az erre alkalmas helyszínek beazonosítása azonban a kedvezőtlen domborzati adottságok és az alkalmasnak látszó területek természetvédelmi oltalma okán Magyarországon egyelőre megoldhatatlan feladatnak bizonyult. Jelen kutatás újszerűsége abban rejlik, hogy középhegységi környezetben keres kisléptékű műszaki megoldásokat a fentiekben vázolt problémára, ráadásul olyan koncepciót, amely a környezeti fenntarthatóság elvárásainak is megfelel.

A decentralizált szivattyús energiatárolás témakörében a nemzetközi kutatás és szakirodalom viszonylag szerény, sőt középhegységi területekre nem is terjed ki. Így például térinformatikai alapú potenciálszámítások az általunk vizsgált léptékben, ráadásul ilyen alacsony relief energiájú területekre ismereteink szerint még nem készültek. Az ismert publikációk sokkal inkább a minél nagyobb kapacitású tározók létrehozásának témakörét dolgozzák fel, általában valamilyen speciális kérdésre választ keresve.

Egy norvég kutatás (ØSTENSEN, I. 2013) lényege abban állt, hogy térinformatikai analízis segítségével, az igen kedvező domborzati adottságokra visszavezethető, sok alkalmas helyszínből a leginkább optimálisakat igyekeztek behatárolni. A Skandináv-hegység élénk, elsősorban magashegységi glaciális formakincséhez hasonlóan, Ti-

betben is számos nagyléptékű potenciális SZET helyszínt sikerült meghatározni különböző térinformatikai eljárásokkal, azonban a fogyasztók jelentős távolsága (a hálózati veszteségek) miatt az ott megvalósítható projektek hatékonysága és megtérülése kérdéses lehet (Lu, X. - WANG, S. 2017).

Egy európai SZET-potenciállal foglalkozó elemzés a már meglévő víztározók átalakításának lehetőségét vizsgálja, a potenciális tározók között maximálisan 20 km távolságot feltételezve (GIMENO-GUTIÉRREZ, M. - LACAL-ARÁNTEGUI, R. 2015). Ehhez hasonló cél vezérelte egy másik nemzetközi kutatás résztvevőit, akik Törökország teljes területére vizsgálták a meglévő vízerőművek és egyéb mesterséges víztestek átalakításának lehetőségeit és az ebben rejlő elméleti potenciált (FITZGERALD, N. et al. 2012).

Az Európai Bizottság Joint Research Centre által publikált jelentése - kifejezetten a legnagyobb rendszerek feltérképezésének szándékával, a méretgazdaságosságra helyezve a hangsúlyt - átfogó képet ad a SZET alkalmazásának lehetőségeiről, ezen belül kiemelten a potenciális területek kiválasztásának módszertanáról (ARÁNTEGUI, R. L. et al. 2011). Ennek az átfogó európai kutatásnak a részeként térképezték fel Magyarország adottságait is a meglévő víztározók átalakításának lehetőségei szempontjából, ám a tanulmány megállapítása szerint a megvalósítható potenciál értéke nulla. Ennek elsődleges oka, hogy a kutatás során kizárólag a nagy méretű, 100 000 m³-nél nagyobb víztározó-kapacitással rendelkező víztestekre fókuszáltak, amelyekből Magyarországon igen kevés található megfelelő földrajzi közegben (ARÁNTEGUI, R. L. et al. 2011).

Az alkalmas helyszínek behatárolásának automatizálása is felmerült, mint kutatási cél. Egy Írországban végzett felmérés kisebb, 800 km²-es mintaterületet vizsgál elsősorban azzal a szándékkal, hogy egy új számítógépes programot teszteljen, amely kifejezetten nagyobb méretű tározókapacitások felkutatására, feltérképezésére alkalmas (CONNOLLY, D. et al. 2010).

A kutatás célja és annak energiagazdálkodási vonatkozásai

Jelen kutatás arra irányul, hogy korántsem optimális éghajlati és domborzati viszonyok között, vajon milyen lehetőség volna a decentralizált szivattyús energiatárolás magyarországi megvalósítására. A munka alapvetően

energiaföldrajzi irányultságú, hiszen a térinformatika eszközeivel arra keresi a választ, hogy korábban ebben az összefüggésben még nem vizsgált területek vajon milyen lehetőségeket kínálnak a szivattyús energiatárolás szempontjából, vagyis milyen támogatást nyújthatnak a megújuló energiaforrások magyarországi elterjedésének és a villamosenergia-termelés és -fogyasztás harmonizálásának megvalósításához. Ebből kifolyólag a kutatásnak nem az egyes beruházások előkészítése, hanem a középhegységi környezetre jól alkalmazható módszertan kidolgozása és helyességének igazolása volt a célja, illetve annak megválaszolása, hogy a dombsági és középhegységi tájak milyen energiatárolási potenciált kínálnak a jövő energiarendszerét tervező szakemberek számára.

A hivatalos magyar kormányzati álláspont szerint ugyanis a jelenlegi adottságok - így például a hiányzó energiatárolási infrastruktúra - nem teszik lehetővé az időjárásstól függő megújuló energiaforrások, különösen a szélerőművek villamosenergia-rendszerbe történő integrálását. Erre való hivatkozással 2016 végén először egy kormányrendelet módosítása (253/1997. [XII. 20.] Korm. rendelet), majd az Országgyűlés által hozott törvény (2007. évi LXXXVI. törvény egy 2016-os módosítása) is született, amelyek ellehetetlenítik további szélerőművek magyarországi telepítését. Ez annál is inkább meglepő, mivel a jelenlegi 330 MW szélerőmű-teljesítmény és annak a bruttó villamosenergia-termelésben megjelenő 1,4%-os részesedése (KSH n.d.) igen szerény ahhoz képest, amit nemzetközi viszonylatban a rendszerirányítók kezelni képesek. Dániában például ez utóbbi érték 42,1% (ENERGINET.DK 2016), ami nem csak, hogy nem okoz kezelhetetlen problémát, de a jelentős időjárásfüggő áramtermelés ellenére a dán villamosenergia-szolgáltatók világviszonylatban is az egyik legbiztonságosabb áramellátást nyújtják.

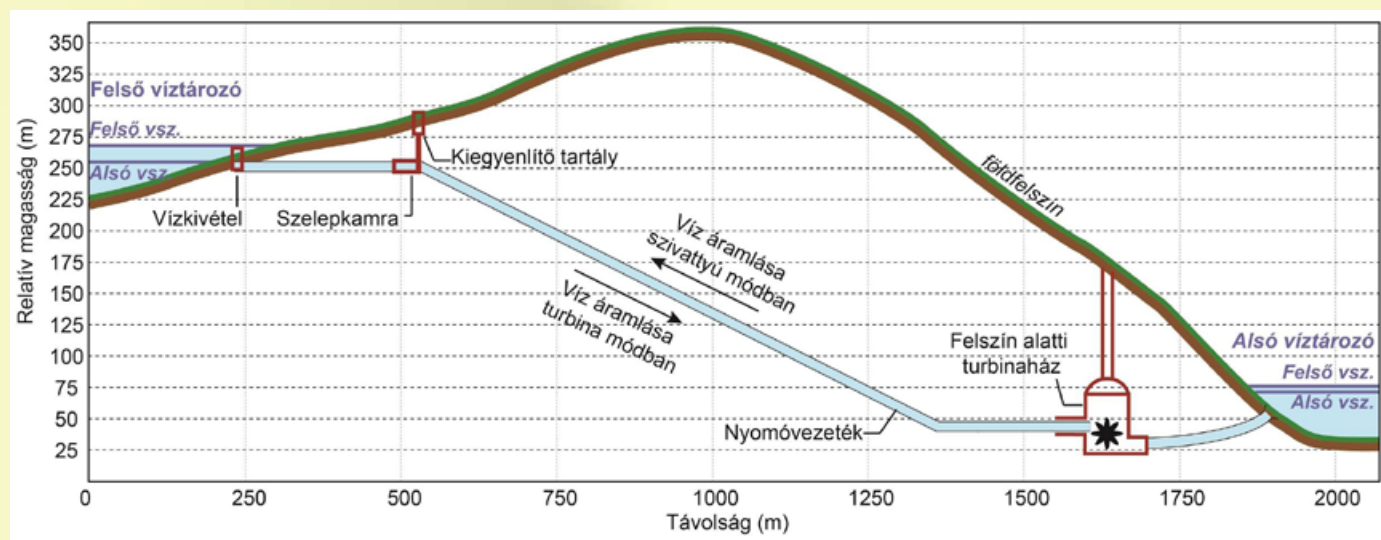
A napelemes rendszerek terén a hazai kormányzat gazdasági szabályozókat vezetett be (2015-től termékdíj, 2017-től elosztói teljesítménydíj), így az elkövetkező években a kapacitásbővülés dinamikája még jobban elmaradhat az európai szinttől - ugyanakkor az is igaz, hogy az utóbbi években, a fenti kedvezőtlen szabályozók ellenére, a napelem-kapacitások bővülése hazai viszonylatban akár jelentősnek is nevezhető. Az energetikai átalakulási folyamat tehát Magyarországon is elindult, ezért már régóta időszerű volna az ezzel kapcsolatos érdemi kutatást elkezdeni és az energiatárolási lehetőségeket és kapacitásokat mielőbb felmérni és létrehozni, hogy később ez ne szabhasson gátat a fejlődésnek.

Decentralizált szivattyús energiatárolás 21. századi energiarendszerekben

Ma már egyre inkább nyilvánvalóvá válik, hogy a villamosenergia-tárolás különféle megoldásai az energiaátalakítási veszteségek miatt csak másodsorban jöhetnek számításba, és lehetőség szerint ennél hatékonyabb hálózat-szabályozási eljárásokat kell alkalmazni. Példaként hozható fel az energiamix optimalizálása; a fogyasztás időbeliségének igazítása a megújuló energiaforrások rendelkezésre állásához (MATHIESEN, B. V. et al. 2015); vagy az export és import lehetőségek kihasználása, amire az európai Energia Unió kínál egyre bővülő lehetőséget. Ennek ellenére a különféle energiatárolók szerepe sem elhanyagolható, különösen a megújuló energiaforrások alkalmazása felé vezető átmenet korai szakaszában lévő gazdaságok számára.

kapacitás, ugyancsak földrajzilag kiegyensúlyozott elosztásban (KÁDÁR, P. - VAJDA, I. 2010). Ezek legnagyobb előnye a korábban említettek mellett, hogy számukra sokkal könnyebben lehet alkalmas területeket találni, mint az 1-2 nagyságrenddel nagyobb kapacitású létesítmények esetében. Bár a centralizált szivattyús energiatárolás dominanciája nem kérdőjelezhető meg, napjainkban a világ számos pontján léteznek kis léptékű rendszerek is (Lepenica (HR) 1,14 MW, Fužine (HR) 4,6 MW, Dobšiná (SK) 24 MW, Hohenwarte-I (D) 33 MW (DOE 2017)).

Napjainkban a SZET a leginkább kiforrott nagyobb léptékű (néhányszor 10 MW-os, vagy annál nagyobb nagyságrendű teljesítménnyel megvalósítható), dominánsan alkalmazott energiatárolási megoldás. A technológia csaknem 140 éves múltra tekint vissza, ráadásul a meglévő villamosenergia-tároló kapacitások 99%-a működik ezen az elven (SAUHATS, A. et al. 2016). A világon üzemelő 300



1. ábra: A szivattyús energiatároló sematikus ábrája. (vsz. = vízszint)
 Forrás: BADARCH, A. 2015 alapján a szerzők szerkesztése

A SZET technológia lényegében a nagy víztest tömegében rejlő helyzeti energiát használja ki. A rendszer két, eltérő magasságú víztározóból, az azokat összekötő csővezeték-ből és közbetelepített szivattyú/turbinaegységből áll (1. ábra). A tárolás hatásfoka 65-85% (ANEKE, M. - WANG, M. 2016), vagyis 15-35%-kal kevesebb energia nyerhető a fogyasztás csúcsidőszakában (a reggeli és kora esti csúc-szfogyasztás idején) a turbina segítségével, mint amennyi az olcsó áramot kínáló völgyidőszakban (éjszaka) a szivattyúzás energiaigénye.

Decentralizált energiarendszerekben a megújulóenergia-alapú berendezések egységenkénti kapacitása kicsi, a termelés térben jól elosztott, így az energiatárolás tekintetében is elegendő a néhányszor 10 MW teljesítményű

létesítmény szükség esetén összesen 160 GW-nyi teljesítményt képes leadni. Ebből Európa 158 projekttel és 54,6 GW kapacitással részesül. Mind a projektek számából mind pedig a teljes kapacitásból azon országok részesedése a legnagyobb, ahol az ipar és a lakosság energiafogyasztása a legmagasabb, valamint a természetföldrajzi adottságok is megfelelőek. Így jelentősnek tekinthető Németország 6688 MW, Spanyolország 6979 MW, Olaszország 7070 MW teljesítménye, de Európán kívüli területeken jóval nagyobb teljesítményű létesítmények üzemelnek (Egyesült Államok 22680 MW, Japán 28258 MW, Kína 31999 MW). A legnagyobb teljesítményű SZET-ek is jellemzően ezekben az országokban találhatók, így például: Goldisthal (1060 MW, Németország), Guangzhou (2400 MW, Kína), Bath County (3000 MW, USA) (DOE 2017).

A SZET *előnyei* a hosszú élettartam (40-80 év), a teljes életciklusra vonatkozó alacsony károsanyag-kibocsátás és a villamos hálózat stabilitására gyakorolt pozitív hatások, melyek közül a legfontosabbak, hogy

- hozzájárul a csúcsidei, általában gázüzemű termelőegységek használatának csökkentéséhez, ezáltal a szén-dioxid-kibocsátás mérsékléséhez;
- fogyasztási minimumban fogyasztóként segít elkerülni a hálózatban részt vevő egyéb termelők leszabályozásának szükségességét, így a rendszer terhelésének kiegyenlítését végzi;
- több más energiatárolási technológiával összevetésben az energiaigény megváltozására gyorsan reagál;
- rendszerszintű szabályozási teljesítményt képesek biztosítani (frekvenciaszabályozás, szekunder-tartalék) (NYAMDASH, B. et al. 2010; ANEKE, M. - WANG, M. 2016).

Hátrányként hozható fel azonban

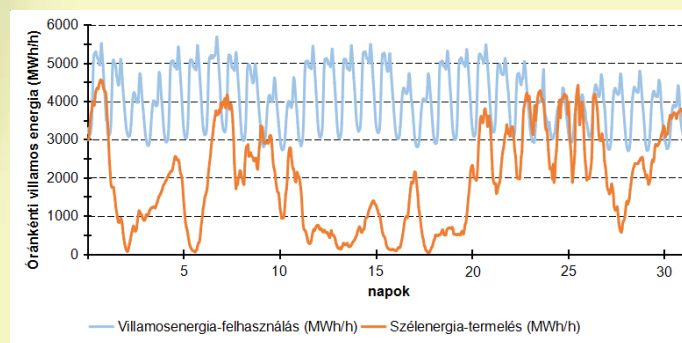
- a magas beruházási összköltség az egyéb energiatárolási technológiákhoz képest - ami ugyanakkor egységnyi eltárolt energiára vetítve a legalacsonyabb;
- a természeti környezet károsodása (ami a kapacitás függvényében változó mértékű);
- a telepítésének lehetősége a topográfiai adottságoktól függ, ami egyes földrajzi területeken jelentősen behatárolt lehet (MAHLIA, T. M. I. et al. 2014).

A gyakorlatban a projektköltségek jelentősen csökkenthetők, ha a kettő közül az egyik medence már rendelkezésre áll természetes bővíző folyó vagy tó, esetleg víztározó formájában. Ilyen esetben új SZET tervezésekor a meglévő víztest jelenlegi funkcióit össze kell hangolni a jövőbeni feladatokkal. Akár meglévő, akár új kialakítást igényel a SZET által használt medence, többcélú hasznosítás esetén elkerülhetetlen, hogy az egyes felhasználóknak bizonyos engedményeket kell tenniük, ez pedig időnként korlátozásokat jelent az egyes hasznosítási ágazatokban (STAROSOLSKY, Ö. 1973).

Műszaki oldalról nézve, alapvetően kétféle víztározó típust lehet megkülönböztetni: a körtöltéssel és a völgyzáró gáttal kialakított medencét. A körtöltéses kialakítás, mint ahogy neve is sugallja, minden oldaláról mesterséges gáttal van körbezárva, alaprajza a tervezéskor alakítható - részben a környezetétől függően. Ilyenkor a terepbe mélyítéskor kitermelt kőzetet és/vagy talajt a gátépítéshez lehet fölhasználni. Völgyzárógátas kialakításnál az adott völgyet annak futására merőleges beton- és/vagy földgáttal zárják le, így a magasabb térszínek felől érkező vizek a gát mögött gyűlnek össze. Völgyzárógátas kialakítás olyan hegységi területeken előnyös, ahol a magashegységi és glaciális felszínformálás meredek oldalú, mély völgyeket hozott létre, például a Skandináv-hegységben (ØSTENSEN, I. 2013) vagy Tibetben (LU, X. - WANG, S. 2017).

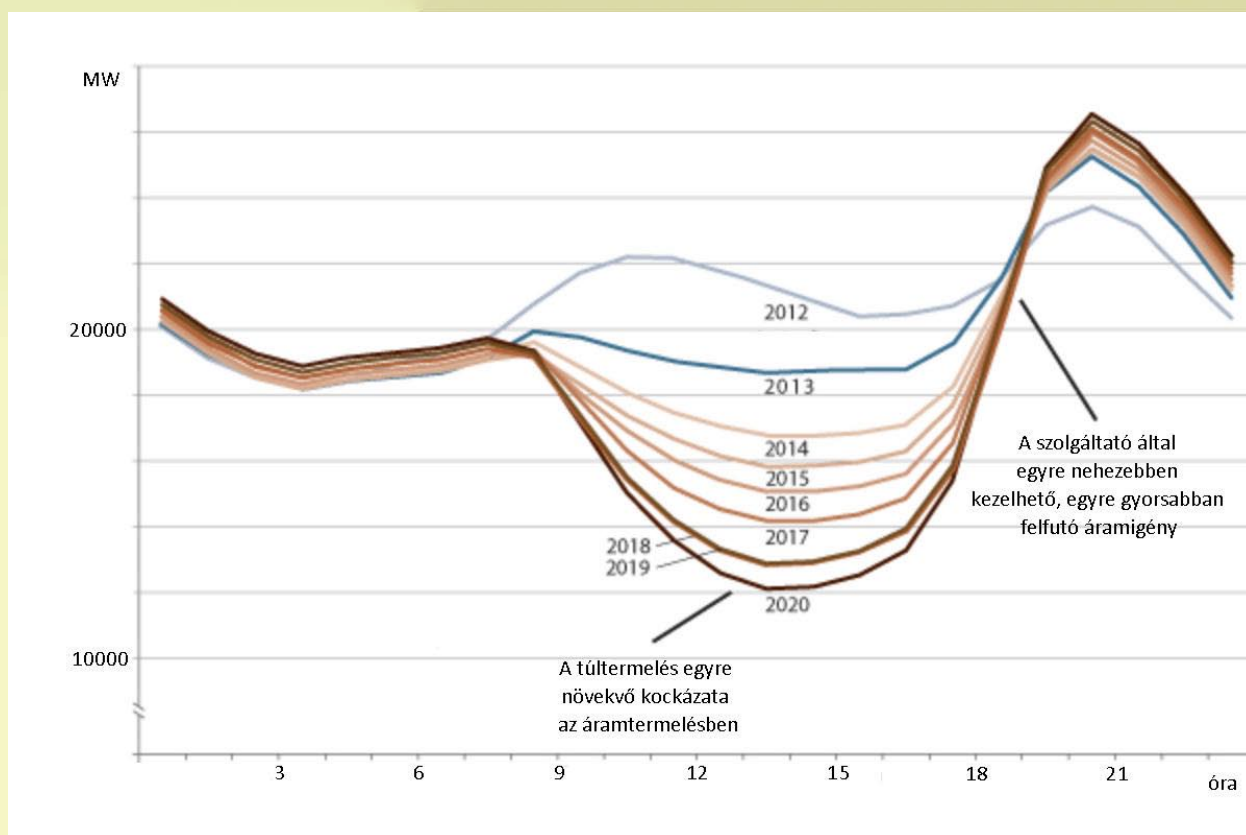
Az energiatárolás szükségessége a korszerű energiarendszerekben

Az egyik legnagyobb kihívás, amivel napjaink leggyorsabb ütemben terjedő megújuló energiaforrásainak, így a szél- és napenergiának szembe kell nézniük, az a termelésük időjárástól való függősége. Ez a napi ritmus szerint változó fogyasztási igények és a többi termelővel való nehézkes együttműködés szempontjából jelent rendszerirányítási kihívásokat. Látványosan éreztetik a problémát szélenergia-termelés és áramfogyasztás változásának dániai adatsorai (2. ábra). Ott a rendelkezésre álló szélturbina-kapacitás 2016-ban meghaladta az 5240 MW-ot (IRENA 2017), ami lényegében a nettó villamosenergia-igénnyel vethető össze, hiszen a téli csúcsgigény 5500-6000 MW közötti, a nyári 4500 MW körüli teljesítményigényt jelent (ENERGYNET.DK 2017).



2. ábra: A dán villamosenergia-fogyasztás és a szélenergia-termelés 2016 decemberében - MWh/h

Forrás: ENERGYNET.DK 2017 adatai alapján a szerzők szerkesztése



3. ábra: A napelemes áramtermelés bővülése következtében az áramszolgáltatóknál jelentkező áramigény évről-évre történő változása egy adott márciusi napon Kaliforniában.

Forrás: SIOSHANSI, F. P. 2016 nyomán

Azokban a széles időszakokban, amikor a termelés átlépi a fogyasztás mértékét (a 2. ábrán például karácsony környékén), a villamosenergia-rendszerben exportálható többletenergia keletkezik, ezzel szemben szélcsendes napokon a kieső termelés miatt hiány mutatkozik (a 2. ábrán december közepén). A napelemes rendszerek térnyerése más jellegű kihívásokat is tartogat, hiszen ezek esetében a) szezonális léptékben kellene az energia tárolásáról gondoskodni: a nyári többletenergiát a téli félévre eltárolni; b) a nyári időszakban a napi üzemmenetben kell a háztartási igények hirtelen és nagymértékű esti felfutására reagálni (lásd “duck-curve”, 3. ábra), hiszen a sok, és egyre több napelemes háztartás napkeltétől napnyugtáig nem vásárol villamos áramot, alkonyatkor azonban a napnyugtával visszaeső napelemes áramtermelés miatt az este gyorsan felfutó áramigény is egyre komolyabb megpróbáltatás elé állítja az áramszolgáltatókat (Sioshansi, F. P. 2016).

A fenti kihívások kezelése teljesen új megközelítést követel mind a rövid távú rendszerirányítás, mind a hosszú távú energiatervezés szempontjából. A megoldásra irányuló technológiai fejlesztések egyik hagyományos

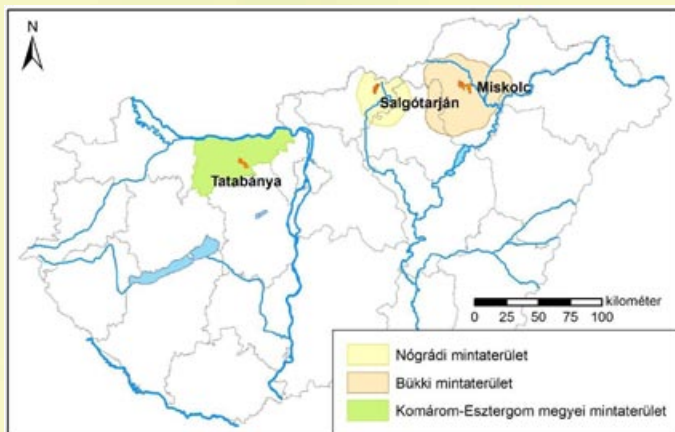
célterülete az energiatárolás, ezen belül kiemelten a szivattyús energiatárolás kapacitásának kialakítása vagy kibővítése.

Mintaterületek

A jelen tanulmányban szereplő három mintaterület az ELTE Környezet- és Tájföldrajzi Tanszékének OTKA kutatásához kapcsolódik: Nógrád- és Heves-, valamint Borsod-Abaúj-Zemplén megye egyes részei, és Komárom-Esztergom megye teljes területe képezi a kutatási területet (4. ábra). Ezekre a továbbiakban nógrádi-, bükki- és Komárom-Esztergom megyei mintaterületekként találhatók hivatkozások. A nógrádi mintaterület a Novohrad-Nógrád Geopark területén elhelyezkedő 12 települést és azok járási határainak 10 km-es pufferzónáját foglalja magában. A pufferzóna miatt került a vizsgálatokba Heves-megye ÉNy-i része is. A bükki mintaterület a Bükk-térségi LEADER Egyesület 42 települését jelenti, szintén 10 km-es járási pufferzónával együtt, így Borsod-Abaúj-Zemplén megyéből átnyúlik Heves megye ÉK-i részére is. A harmadik kutatási terület Komárom-Esztergom megye egészét

magában foglalja - a nagy kiterjedés miatt - pufferzóna nélkül.

A kiterjedt, mintegy 7000 km²-nyi kutatási terület (nógrádi = 1323 km², bükki = 3252 km² és Komárom-Esztergom megyei = 2264 km²) tapasztalatai alapján kijelenthető, hogy a vizsgálatokból származó megállapításokat, következtetéseket hazánk más, hasonló morfológiai jegyeket hordozó dombsági vagy középhegységi tájaira is alkalmazhatjuk.



4. ábra: A vizsgálatban szereplő három mintaterület elhelyezkedése. Forrás: A szerzők szerkesztése

A kutatási módszertan bemutatása

Az elemzést befolyásoló szempontok

A szivattyús energiatároló projektek tervezése és kivitelezése minden esetben egyedi, ahol a méretezést az energetikai igény mellett alapvetően a természeti adottságok, ezen belül is leginkább a domborzati tényezők és vízrajzi adottságok határozzák meg. Ennek tükrében különféle topológiai típusok elkülönítésére van lehetőség, melyek (LACAL ARÁNTGUEI, R. et al. 2012) szerint hét osztályba sorolhatók. Jelen kutatás a mintaterületek tulajdonságait és a kitűzött célokat (középhegységi SZET potenciálfeltárás) figyelembe véve az egyes topológiák közül csak egyet vizsgál meg. Ez a kivitelezésre alkalmas topológiájú zöldmezős beruházással megvalósítható lehetőség, zárógáttal ellátott völgyben, mélyedésben, vagy körtöltéses kialakítású síkká formálható hegytetőn. Ez a legsokoldalúbb lehetőség, hiszen nem szorul meglévő tározóra, de ugyanilyen okból valószínűleg a legköltségesebb is.

A mintaterületek domborzatára jellemző völgyek a helyi felszínfejlődésnek megfelelően szélesek, a völgyoldalak enyhe lejtőszöggel rendelkeznek. Ilyen körülmé-

nyek között új völgyzárógátas tározó kialakítása egységni vízterfogatra nagy vízfelszín eredményezne, ami elmentmond a kutatás célkitűzéseinek, ezért a vizsgálatban csak a körtöltéses kialakítás lehetősége képezi a vizsgálódás tárgyát. Minden víztározó tervezése és későbbi üzemeltetése során szigorú szabályokat kell követni mind a létesítmény épségének megőrzése, mind pedig a környező területek és az ott élő lakosság biztonsága érdekében (ld. Hasznosi víztározó túlterhelése 2010-ben).

Az alkalmazott módszertan központi elemei távérzékelési és geoinformatikai eljárások, melyek meghatározott kritériumok alapján a domborzat modellezésével jelölik ki a víztározó medencék telepítésére potenciálisan alkalmas helyszíneket. Az elemzés révén az energetikai szempontból decentralizált, legfeljebb mintegy 500 MWh energiamennyiség tárolását, illetve 10-50 MW kisütési (energiatermelő) teljesítményt biztosító potenciális földrajzi területeket igyekeztünk behatárolni a jelenlegi technológiai adottságok figyelembe vételével. Ennek során az alábbi korlátozó és/vagy telepítési tényezőket vettünk figyelembe:

- energetikai
 - decentralizált mérettartomány (max. 500 MWh tárolt energiamennyiség;
- infrastrukturális adottságok vagy korlátok
 - út- és vasúthálózat;
 - települések belterület;
 - ipari területek;
 - állattenyésztő telep, egyéb mezőgazdasági telephely;
- környezeti szempontok
 - nemzetközi védettséget élvező természeti területek (pl. Natura 2000, Ramsari egyezmény által védett területek);
 - országos jelentőségű védett természeti területek (pl. nemzeti park, tájvédelmi körzet, természetvédelmi terület).

Nem vettük viszont figyelembe a tájképvédelmet, ugyanis a vizsgált terület teljes egészében az országos jelentőségű tájképvédelmi terület övezetébe tartozik. Másfelől a decentralizált, kisléptékű szivattyús energiatá-

roló-rendszerek tájba illesztésére számos jó nemzetközi példa akad (Észak-walesi Snowdonia Nemzeti Park), ami arra enged következtetni, hogy nemzetközi viszonylatban a tájképvédelem nem feltétlenül kizáró tényező. A tájképvédelmi szempontból kifejezetten zavaró villamos vezetékek és a víztározókat összekötő nyomócső felszín alatt is elhelyezhető, így a tájképromboló hatás jelentősen csökkenthető, míg a víztestek akár pozitív elemei is lehetnek a tájképnek.

Felhasznált térinformatikai és távérzékelési adatok

Ahhoz, hogy a vizsgálat a kisméretű víztározók leválogatási kritériumának megfelelően, részletes digitális domborzatmodellre van szükség, aminek például a nyilvánosan hozzáférhető 1°-os SRTM állományok (Shuttle Radar Topography Mission) nem tesznek eleget. A regionális lépték miatt lehetőség adódott a részletes, 10x10 m-es felbontású, korábbi terepi felmérések során gyűjtött adatok felhasználására. Ezek a domborzati adatok tisztán a földfelszín magassági értékeivel rendelkeznek (Digitális Domborzat Modell - DDM), amit nem befolyásol a vegetáció vagy az egyes tereptárgyak, emiatt rendkívüli pontosságot tettek lehetővé a később elvégzett műveletek során. Az egyes területek 3D-s megjelenítéséhez 2005-ben készült ortofotók szolgáltattak alapul, melyeket ráfeszítettük a DDM-re.

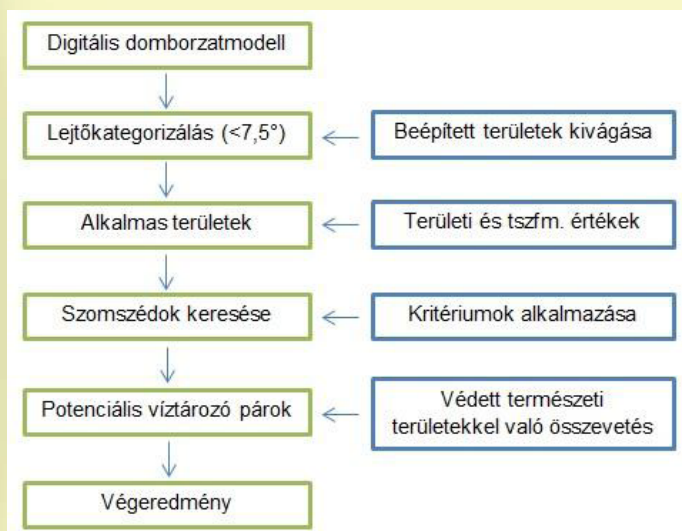
A települések, ipari térségek, mint az új tározók létesítését kizáró területek poligonjai a CLC 50-es (Corine Land Cover) és más adatbázisokból származnak, csakúgy, mint az infrastruktúra egyes vonalas elemei, így az utak és a vasúti nyomvonalak. Vízkivételi helytől és villamos hálózatra csatlakozási lehetőségtől való távolság rendre 2 és 10 km, melyek a mintaterületeket sűrűn és homogén módon átszövik.

GIS analízis

A digitális domborzatmodell elkészítése, megjelenítése és a különböző műveletek végrehajtása ArcMap 10.2-es verziójával történt, a példaként bemutatott szűkebb helyszín 3D-s ábrázolását Surfer 13-mal végeztük el. Az ArcMap-ben elvégzett főbb lépések száma 32 db volt, melynek főbb pontjait az 5. ábra mutatja be.

Az alkalmas területek behatárolása

Az 5. ábrán felvázolt első lépésben elkészült a digitális domborzatmodell, melyből a második lépés során kijelölésre kerültek a síkhoz közeli területek, melyek lejtőszöge 7,5°-nál kisebb. A harmadik lépésben ezek a területek vektoros állományokká lettek alakítva, majd a települések, ipari területek és az infrastruktúra elemeinek összevonása után az eredményül kapott állomány által lefedett sávok és foltok kivonása következett a síkhoz közeli lejtésű területekből, kizárva ezzel az új víztározó létesítésére alkalmatlan, beépített helyszíneket. A különböző területek poligonjaihoz a domborzatmodellből kinyert abszolút tengerszint feletti magassági értékeket rendeltünk. Ezt követően minden egyes terület összevetése következett az 5 km-es szomszédságukba eső 10 legközelebbi építésre alkalmas helyszínnel a negyedik lépésben, majd a különböző kritériumok alapján a legalkalmasabb lehetséges párok kiválasztására került sor. Végül az utolsó, ötödik lépés során az így eredményül kapott, potenciálisan alkalmas területek esetleges természeti védettségét kellett megvizsgálni.



5. ábra: A GIS analízis főbb lépései

Forrás: A szerzők szerkesztése

A leválogatás során alkalmazott kritériumok

Kiválasztási tényezők (1. táblázat) között szerepelt az egyes sík területek közötti minimális relatív magasságkülönbség, és a köztük fellépő magasság/távolság arány, melynek a nemzetközi szakirodalomban javasolt küszöbértéke 1/10 (BARNES, F. S. - LEVINE, J. G. 2011). Ennél kisebb arány esetében a projektnél működési problémák

léphetnek fel az alacsony víznyomás, és a turbinákon átáramló mérsékelt vízsebesség miatt. A területen fekvő meglévő víztározók jellemző mélysége 8 m, ezért az újonnan kialakítandó medencék esetében is ezzel az értékkel számoltunk, ami alacsonyabb a világon üzemelő SZET létesítmények esetében alkalmazotthoz képest (P. Hearps et al. 2014). Ennél lényegesen nagyobb vízoszlop biztonsági kockázatoknál fogva bonyolultabb, és költségesebb műszaki megoldásokat tesz szükségessé. A potenciális medencék térfogatszámításánál figyelembe kell venni, hogy a körtöltés rézsúí miatt a gyakorlatban kisebb végeredményt kapunk - esetünkben átlagosan 95%-nyi térfogatot vettünk számításba.

Kritérium	Érték
Keresési sugár (km)	5
Legközelebbi szomszédok maximális száma (db)	10
Minimum relatív szintkülönbség (m)	100
Minimum szintkülönbség/távolság arány	1/10
Felső tározó minimum energiatároló kapacitása (MWh)	60

1. táblázat: A térinformatikai modellezés során alkalmazott leválogatási kritériumok

Forrás: a szerzők saját összeállítása.

A potenciális területek kiterjedése, és az abból származtatható medencékre vonatkozó térfogati értékek, valamint a relatív magasságkülönbség adatainak birtokában a felső tározó víztömegében rejlő helyzeti energia mennyisége leírható az

$$E = \frac{\rho * g * h * V * \eta}{3600}$$

egyenlettel, ahol E = energiatárolási kapacitás (Wh), ρ = víz sűrűsége (1019 kg/m³ víz esetén), g = nehézségi gyorsulás (9,81 m/s²), h = relatív magasságkülönbség, V = tározó becsült térfogata (m³), η = hatásfok (a jelenleg elérhető legjobb, 85%-kal számolva). Ez a felső tározónál fontos, hiszen kizárólag energetikai célú hasznosítást feltételezve a felső medence kapacitása határozza meg a maximálisan felhasználható energia mennyiségét. Az egyenlet segítségével számított energiamennyiség alapján kiválaszthatók azok a potenciális SZET helyszínek, amelyek a villamosrendszer-irányítás szempontjából már jól kihasználható üzemidő (nagyságrendileg 4-8 óra) alatt 10-50 MW teljesítménnyel süthetők ki.

A potenciálisan alkalmas területek a természetvédelmi oltalom tükrében

A három mintaterület jelentős része esik természetvédelmi oltalom alá, hiszen természetvédelmi terület, tájvédelmi körzet, illetve nemzeti parki (Bükki- és Duna-Ipoly Nemzeti Park) védettséget élveznek. Jelentős korlátozó tényezők lehetnek továbbá az Európai Unió Natura 2000 területek (pl. Mátrabérc–Fallóskúti rétek). A fentiek együtt a terület mintegy 20%-át teszik ki, amit szintén számításba kellett venni a GIS-analízis ötödik lépésében. Ugyanakkor, mivel a nemzetközi gyakorlatban a védett természeti területek nem feltétlenül jelentik egy SZET kialakításához potenciálisan alkalmas helyszín azonnali kizárását (ld. Dlouhé Stráně, É-Morvaország, Jeseník-hegység Tájvédelmi Körzet), ez a jelenlegi kutatásban sem történt meg. Az eredmények bemutatásánál kiemelten szerepel azon területek száma, amelyek esetében nem áll fenn semmilyen védettség a felsoroltak közül.

Eredmények

A vizsgálat eredményei alapján mindhárom mintaterületen vannak olyan helyszínek, ahol a támasztott követelményeknek megfelelően *lehetőség van energiatárolási célú víztározó medencék kialakítására*. Számuk az egyes mintaterületek szerint a helyi domborzat, a művi elemek és a védettséget élvező területek arányának függvényében változik.

A kezdeti, digitális domborzatmodell alapján számított vízszinteshez közeli térszínek a vizsgálati területeken belül homogén módon helyezkedtek el, elsősorban a nagy kiterjedés miatt. Ez alól kivételt képeznek a hegységi előterek, a Gerecsétől nyugatra eső Kisalföld, és a bükki térségtől keletre és délkeletre elterülő sík, alacsony térszínek, melyek már az Alföld északi részét képezik. Ezen és a hegységekben futó folyóvizek szélesebb talpú völgyein kívül a domborzat változatos, ami lehetőséget kínál kihasználni a relatív szintkülönbség adta előnyöket, amely ez esetben a víztárolási szerepet betöltő két medence közötti minél nagyobb szintkülönbséget jelenti.

A megfelelő méretű potenciális helyszínek közt kialakítható párokat, és az azokat összekötő nyomóvezetékek esését is figyelembe véve a meglévő művi létesítmények által elfoglalt területek kizárása után a lehetséges helyszínek számában nem történt jelentős csökkenés. Ez inkább az ilyen elemek térbeli eloszlásának mintázata

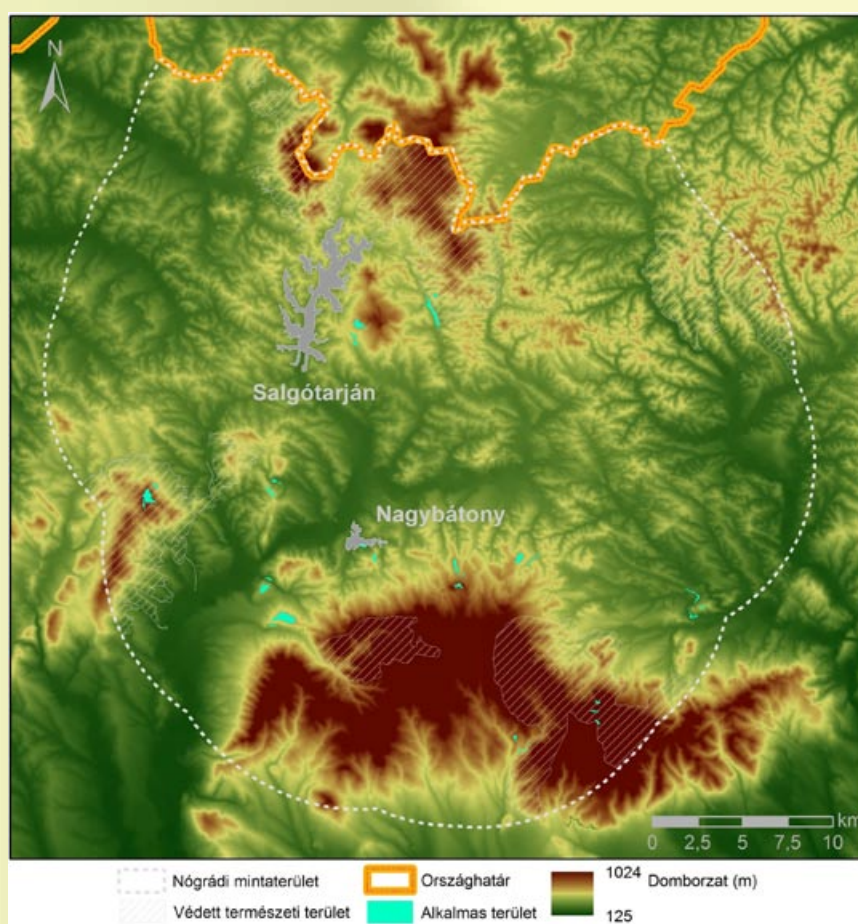
Alkalmas helyszínek	Bükk	Nógrádi	Komárom-Esztergom
Potenciális medence (db)	24	27	52
Ebből védett (db)	21	7	51
Ebből nem védett (db)	3	20	1
Az alkalmas helyszínek főbb paraméterei			
Átlagosan eltárolható energia (MWh)	229,9	264,8	260,1
Összterület (ha)	299,2	264,3	470,4
Átlagterület (ha)	12,0	9,6	9,0
Fellépő átlagos esés (fok)	19,1	19,9	20,7

2. táblázat: A mintaterületeken feltárt potenciális helyszínek SZET-ek medencéi számára, és azok fontosabb tulajdonságai. Forrás: A szerzők összeállítása

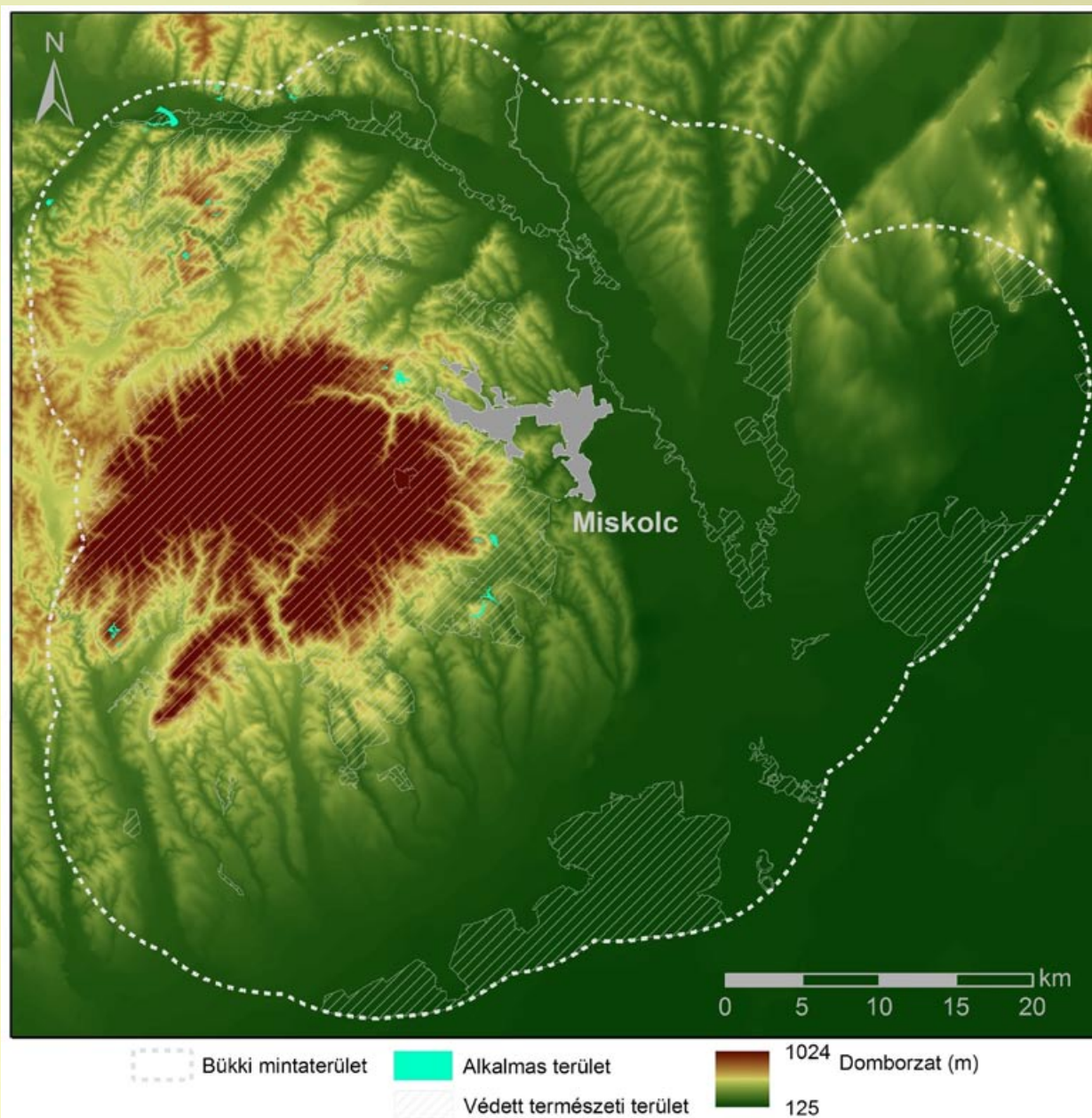
miatt jelentkezik, hiszen elterjedésük gyakoribb a sík, alacsonyabb fekvésű térszíneken. Ilyen területeken csak az alsó tározó kaphat helyet, a hozzá legközelebbi lehetséges párok mind a völgy oldalaiban és a felettük húzódó síkabb gerinceken, háton, nyergeken és pihenőkön alakíthatóak ki a megfelelő szintkülönbség biztosítása érdekében. Nagyobb tengerszint feletti magasságban és tagoltabb, kisebb vízfolyások által felszabdalt térszíneken az épített környezeti elemek kevésbé jellemzőek, ezért

a vizsgálat eredményeként kapott poligonok is itt jelentkeztek többségben.

A korábban bemutatott kritériumok alapján a leválogatás megfelelő mennyiségű eredményt hozott további elemzés céljából. Az elvégzett vizsgálatok medencepárokra jellemző paramétereinek összesítését és a rájuk vonatkozó fennálló védeltséget a 2. táblázat, valamint az 6., 7. és 8. számú ábrák szemléltetik.



6. ábra: A nógrádi mintaterület potenciálisan alkalmas víztározó helyszínei. Forrás: a szerzők szerkesztése.



7. ábra: A bükki mintaterület potenciálisan alkalmas víztározó helyszínei.
 Forrás: a szerzők szerkesztése

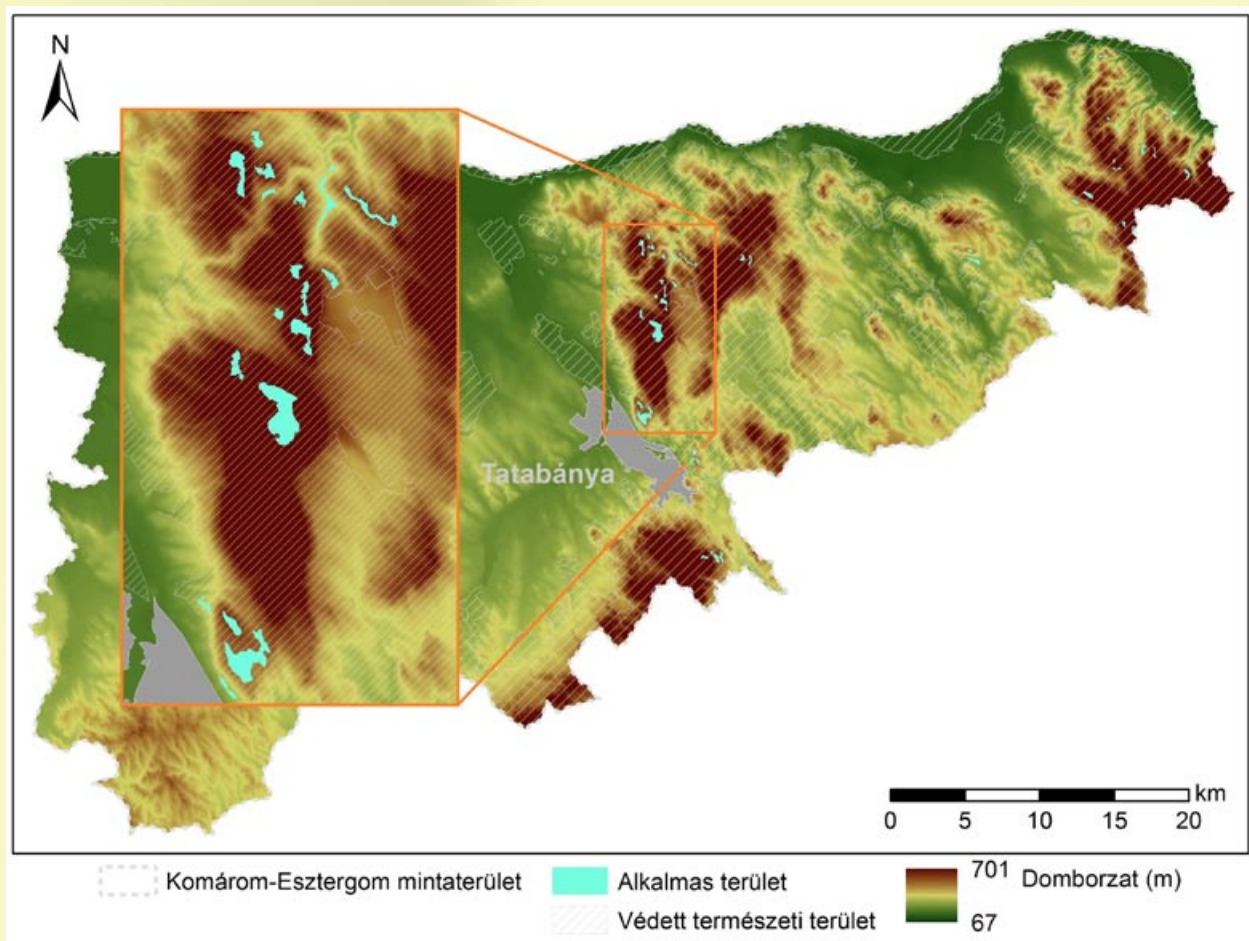
A mintaterületek SZET medencéinek kialakítására alkalmas helyszíneket jelentős arányban érinti valamilyen fokú, a területre vonatkozó védettség. Bár egy (jövőbeni beruházáshoz kapcsolódó) környezeti hatástanulmány elkészítése során a nem védett helyszíneket is vizsgálat alá kell venni, a védett területen elhelyezkedő medencék poligonjait, pontosabban az általuk lefedett területeket külön-külön érinti a védettség különféle formáinak megfelelő szabályozás. Amennyiben egy ilyen helyszín valamilyen szempontból nem felel meg a követelményeknek, az a későbbi vizsgálatokból kizárható.

Domborzati adottságainak köszönhetően a **nógrádi mintaterületen**, a Mátrában többfelé (főként a hegységi peremeken), illetve Salgótarján és Recsk környékén is mutatkoznak olyan potenciális helyszínek, amelyek megfelelnek a modell kritériumainak (6. ábra). A 24 lehetséges víztározó összterülete 264,3 ha, míg ezek átlagos területe 9,6 ha, ami jól megfelel a kutatás problémafelvetésében megfogalmazott kis víztározó-alapterület kritériumának. Három mintaterületünk közül ezeket az eredményeket befolyásolják legkisebb mértékben a védett természeti területek.

A **bükki mintaterület** - bár egészét tekintve nagyobb kiterjedésű, mint a nógrádi - a várakozásokkal ellentétben kevesebb eredményt hozott a modellezés során (7. ábra). A legtöbb potenciális terület a Bükkalján, az Up-ponyi-hegység vidékén és a Sajó völgyében, a mintaterület északi részén helyezkedik el. A modellezés szerint a terület adottságai 24 medence kialakítását teszik lehetővé, melyek átlagos területe 12 ha. További vizsgálatokat tehetnek szükségessé a Bükk nagy részén előforduló karbonátos kőzetek, melyek a bennük eltárolt karsztvizek sérülékenysége miatt újabb rizikófaktorot jelentenek a kivitelezés és üzemeltetés szempontjából.

A bükki mintaterülethez hasonlóan a **Komárom-Esztergom megyei** vizsgálati területet is érintik a létesítésre alkalmatlan, nagy kiterjedésű sík térszínek, elsősorban

a Kisalföldön. Az eredményül kapott poligonok kevés kivételtől eltekintve a Gerecse és a Visegrádi-hegység területére korlátozódnak, főként Tatabánya közelében és a Dunakanyarban (8. ábra). Számos potenciális helyszín a hegységi peremek mentén jelentkezik, ezek viszont távol találhatók a megyében korábban épített szélturbináktól, bár a jövőben elősegíthetnék további szélerőművek telepítését és azok villamosenergia-hálózatba való integrálását a Kisalföldön. A mintaterület méreteiből adódóan itt kaptuk a legtöbb eredményt is, bár az 52 potenciális helyszín (átlagterületük 9 ha) közül csupán egy olyan van, mely nem áll természeti oltalom alatt. A megyére jellemző karsztos kőzetek jelentős kiterjedése ez esetben is körültekintő tervezést igényel a víztározók kialakítása előtt.

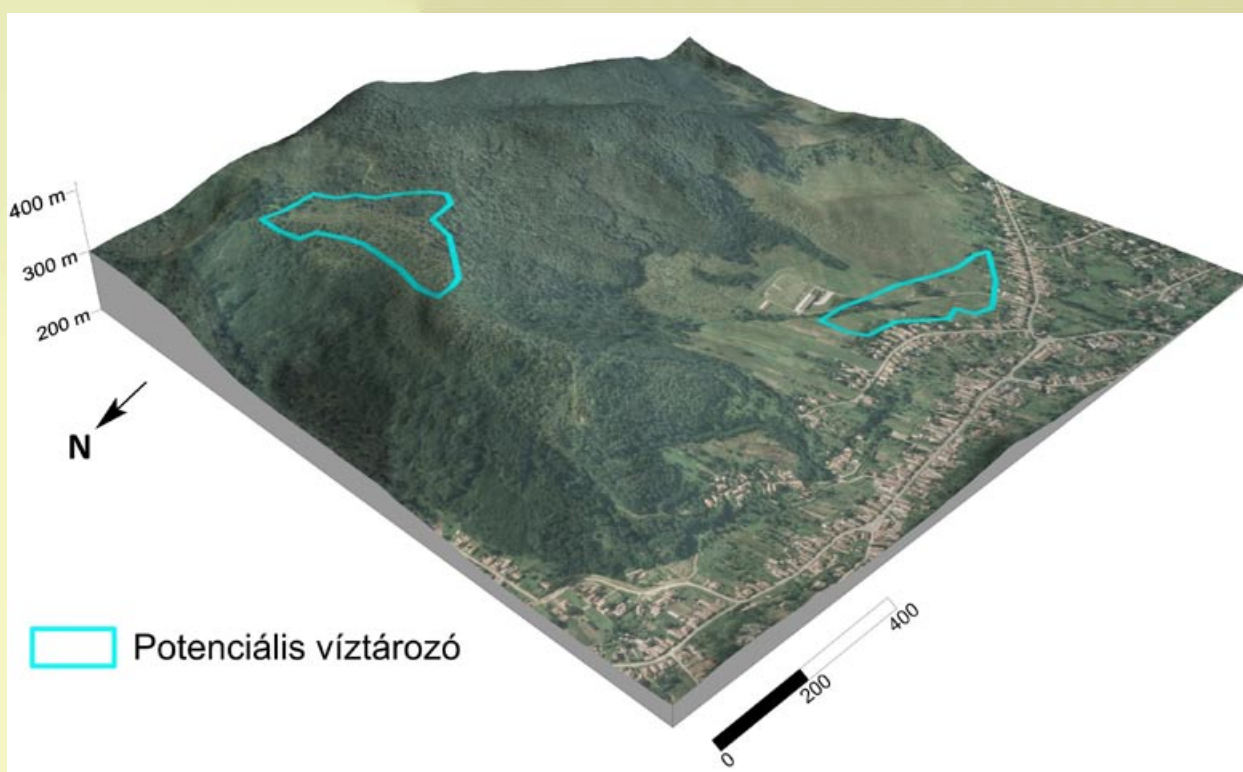


8. ábra: A Komárom-Esztergom megyei mintaterület potenciálisan alkalmas víztározó helyszínei. A kivágat által kitakart területen a modellezés nem hozott eredményt.

Forrás: a szerzők szerkesztése

A geoinformatikai szoftverekkel készített kétdimenziós ábrázolás miatt különféle megvalósíthatósági problémák léphetnek fel, például két potenciális víztározót összekötő csővezeték nyomvonala valamilyen terepakadályba ütközhet, ami az előzetes vizsgálat során nem jelentkezett.

Nemcsak a szubjektíven hibásnak ítélt kapcsolatokat, de a modell által eredményül adott összes helyszínt további ellenőrzésnek kell alávetni. A különféle problémák feltárásához szoftveres és távérzékelési (3D-s megjelenítés, légi és űrfelvételek), vagy terepi ellenőrzés szükséges.



9. ábra: Egy ideális medencepár megjelenítése háromdimenziós ábrázolással a nógrádi mintaterületről.
Forrás: a szerzők szerkesztése

A 9. ábra egy Bátorterenyétől K-DK-re (Nagybátöny közelében) lévő ideálisnak tekinthető, potenciális medencepárt (kék objektumok) mutat be. Az ábra függőleges, „Z” tengelyén (torzítás nélkül) a tengerszint feletti abszolút magassági értékek szerepelnek méterben. A kialakítható medencék között lévő relatív magasságkülönbség 112 m, a nyomócső esése 10° -os lehet. A felső medence által eltárolt víz leengedésével 244 MWh villamos energia állítható elő. Ekkora energiatárolási kapacitás 6 órás kisütési üzemidővel számolva maximális teljesítményen akár 40 MW megújulóenergia-alapú termelést is képes lenne segíteni, és a helyi villamosenergia-hálózatot szabályozni a SZET környékén lévő néhány településen. Ez akkora lépték, ami 3 kW-os rendszerteljesítményeket feltételezve mintegy 13300 darab, családi házra felszerelt napelemes rendszer teljesítményével vethető össze - miközben a járási székhelyű Bátorterenyén a háztartások száma valójában csak 4000 körüli. Bár a bemutatott eredmény SZET medencévé való kialakítása több szempontból is aggályos a lakott terület közvetlen közelsége miatt, a 9. ábra mégis jó lehetőséget biztosít a területi arányok szemléltetésére a potenciális víztározók kiterjedésének és a település lakóépületeinek összehasonlításával.

Következtetések

Jelen kutatás eredményeként megállapítható, hogy a kisléptékű szivattyús energiatárolás reális alternatíva lehet a mérsékelt kedvező magyarországi adottságok között is. Sőt, a többi gyorsan fejlődő, ám még mindig nem teljesen kiforrott energiatárolási megoldás (akkumulátorok, áramból-gáz technológia, sűrített levegő, valamint cseppfolyós levegő segítségével tárolt energia) mellett jelenleg Magyarországon is a szivattyús energiatárolás tekinthető az egyik leginkább reális fejlesztési irányának, a többihez képest legolcsóbban kivitelezhető és működtethető megoldásnak. Ennek - az energetikai előnyök mellett - két további igen fontos oka is van: a) korrekt tervezés és kivitelezés mellett az új vizes élőhelyek megjelenésével akár ökológiai szempontból kedvező változások is bekövetkezhetnek az érintett területeken; b) nyilvánvalóan ez sok szempontból szubjektív megítélés alá esik, de a kisléptékű SZET akár a tájképi adottságokat is pozitívan befolyásolhatja.

Általános érvényű megállapítás továbbá, hogy a távérzékeléses adatokon alapuló, és számos térinformatikai eljárást alkalmazó potenciális víztározók helyét megállapító modellezés nagy területen is alkalmazható, gyors és pontos, ezért hatékonyan használható a kisléptékű,

decentralizált szemléletű szivattyús energiatárolási lehetőségek vizsgálata során. A módszert más, a mintaterületekhez hasonló táji adottságú területeken is alkalmazni lehet kisléptékű szivattyús energiatárolási potenciálok feltárására. Ehhez azonban további vizsgálatok szükségessé válnak, természeti, társadalmi és technológiai szempontok alapján, hiszen az energetikai tervezés a 21. században nem képzelhető el a korábban megszokott szűklátókörű, csupán műszaki szempontrendszer alkalmazásával.

A vizsgálat eredményeként a konkrét mintaterületekre vonatkozó következtetések közül a legfontosabb az, hogy a nagyfokú korlátozást okozó bemeneti kritériumok és a védett területeken lévő helyszínek nagy arányának ellenére is kellő mennyiségű eredmény született, melyek további kutatások alapjául szolgálhatnak. Ilyen lehet a meglévő víztározók és tájsebek (például bányagödrök) adatbázisaival történő további potenciálszámítás. Erre adottak a lehetőségek, hiszen a vizsgálati területeken több víztározó is ismeretes megfelelő topológiai környezetben, illetve az egyes bányagödrök rekultivációjához is komoly támogatást adhat egy ilyen jellegű projekt, leginkább Salgótarján, Ózd, és más korábbi iparváros környezetében. Az egyes paraméterek változtatásával, mint a tározók közti minimális magasság, a vízkivételi- és villamos hálózatra való csatlakozási lehetőségtől való távolság, a medencék mélysége és az egyes védett természeti területek közelségének maximális értékei, különböző modellváltozatok készíthetők. Mivel a felhasznált vektoros

adatok esetleges hiányossága, az alkalmazott kiválasztási tényezők értékei, vagy a digitális domborzatmodell felmérésekor létrejött pontatlanságok alapjaiban befolyásolhatják a modell eredményeinek helyességét, ezek az eredményül kapott helyszínek nem feltétlenül felelnek meg egy részletes, beruházási döntést előkészítő vizsgálat kritériumainak, hiszen ott további szempontokat, így például a tulajdonviszonyokat sem lehet figyelmen kívül hagyni. A kutatásban szereplő eredmények ezek alapján tehát inkább reprezentatív jellegűek, és felhívják a figyelmet az ilyen irányú részletesebb vizsgálatok szükségességére.

Köszönetnyilvánítás

A kutatást az Országos Tudományos Kutatási Alapprogram támogatta (OTKA 112477). A kutatási program címe: *“A megújuló energiaforrások alkalmazásának tájvédelmi szempontú vizsgálata hazai mintaterületeken”*. A munkát, mely egy energiatárolással foglalkozó multidiszciplináris kutatási projekt része, az Eötvös Loránd Tudományegyetem Multidiszciplináris Kutatásokat Támogató Alapja is támogatta. A szerzők rendkívül hálásak Baranyák Zoltán energetikai szakértőnek, Mészáros Jánosnak (ELTE, Térképészeti és Geoinformatikai Tanszék), és Telbisz Tamásnak (ELTE, Természetföldrajzi Tanszék) a segítségükért és közreműködésükért.

Irodalom

- ANEKE, M. - WANG, M. 2016: Energy storage technologies and real life applications - A state of the art review. *Applied Energy*, 179, pp. 350-377. doi:10.1016/j.apenergy.2016.06.097
- ARÁNTGUI, R.L. - FITZGERALD, N. - LEAHY, P. 2011: Pumped hydro energy storage: potential for transformation from single dams. Analysis of the potential for transformation of non-hydropower dams and reservoir hydropower schemes into pumping hydropower schemes in Europe. European Commission Joint Research Centre Institute for Energy and Transport.
- BADARCH, A. 2015: *Hydropower scheme to strengthen CES of Mongolia*. (utoljára megtekintve: 2017.9.2)
- BARNES, F.S. - LEVINE, J.G. 2011: *Large Energy Storage Systems Handbook*. CRC Press, 254 p.

- CONNOLLY, D. - MACLAUGHLIN, S. - LEAHY, M. 2010: Development of a computer program to locate potential sites for pumped hydroelectric energy storage. *Energy* 35, pp. 375-381. doi:10.1016/j.energy.2009.10.004
- USA DEPARTMENT OF ENERGY, 2017: *DOE Global Energy Storage Database*. (utoljára megtekintve: 2017.09.2)
- ENERGINET.DK, 2016: Wind powers share of electricity consumption was 42 per cent in 2015. URL <http://energinet.dk/EN/KLIMA-OG-MILJOE/Miljoerapportering/VE-produktion/Sider/Vind.aspx> (utoljára megtekintve: 2017.09.02)
- ENERGYNET.DK, 2017: *Download of market data*. (utoljára megtekintve: 2017.09.02)
- FITZGERALD, N. - LACAL ARÁNTGUI, R. - MCKEOGH, E. - LEAHY, P. 2012: A GIS-based model to calculate the potential for transforming conventional hydropower schemes and non-hydro reservoirs to pumped

- hydropower schemes. *Energy, 23rd International Conference on Efficiency, Cost, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems, ECOS 201041*, pp. 483-490. doi:10.1016/j.energy.2012.02.044
- GIMENO-GUTIÉRREZ, M. - LACAL-ARÁNTEGUI, R. 2015: Assessment of the European potential for pumped hydropower energy storage based on two existing reservoirs. *Renewable Energy* 75, pp. 856-868. doi:10.1016/j.renene.2014.10.068
- IRENA.ORG 2017: [Renewable Energy Statistics 2017](#). (utoljára megtekintve: 2017.09.02)
- KÁDÁR, P. - VAJDA, I. 2010: A villamosenergia-rendszer stratégiai kérdései. MTA Köztisztviselői Stratégiai Programok, Budapest
- KSH, n.d.: STADAT - 3.8.2. [Villamosenergia-mérleg \(1990-\)](#) (utoljára megtekintve: 2017.09.02)
- LACAL ARÁNTEGUI, R. - TZIMAS, E. - EUROPEAN COMMISSION, JOINT RESEARCH CENTRE, INSTITUTE FOR ENERGY AND TRANSPORT 2012: SETIS expert workshop on the assessment of the potential of pumped hydropower storage: Petten, the Netherlands, 2nd and 3rd April 2012. Publications Office, Luxembourg.
- LU, X. - WANG, S. 2017: A GIS-based assessment of Tibet's potential for pumped hydropower energy storage. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 69, pp. 1045-1054. doi:10.1016/j.rser.2016.09.089
- MAHLIA, T.M.I. - SAKTISAH DAN, T.J. - JANNIFAR, A. - HASAN, M.H. - MATSEELAR, H.S.C. 2014: A review of available methods and development on energy storage; technology update. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 33, pp. 532-545. doi:10.1016/j.rser.2014.01.068
- MATHIESEN, B.V. - LUND, H. - CONNOLLY, D. - WENZEL, H. - ØSTERGAARD, P.A. - MÖLLER, B. - NIELSEN, S. - RIDJAN, I. - KARNØE, P. - SPERLING, K. - HVELPLUND, F.K. 2015: Smart Energy Systems for coherent 100% renewable energy and transport solutions. *Applied Energy*, 145, pp. 139-154. doi:10.1016/j.apenergy.2015.01.075
- NYAMDASH, B. - DENNY, E. - O'MALLEY, M. 2010: The viability of balancing wind generation with large scale energy storage - 1-s2.0-S030142151000580X-main.pdf. *Energy Policy*, pp. 7200-7208. doi:10.1016/j.enpol.2010.07.050
- ØSTENSEN, I. 2013: [Fakta 2013 - Energi- og vannressurser i Norge](#). Olje- og energidepartementet. (utoljára megtekintve: 2017.09.18)
- HEARPS, P. - DARGAVILLE - R. - MCCONNELL, D. - SANDIFORD, M. - FORCEY, T. - SELIGMAN, P. 2014: [Opportunities for pumped hydro energy storage in Australia](#). Melbourne Energy Institute. (utoljára megtekintve: 2017.09.18)
- SAUHATS, A. - COBAN, H.H. - BALPUTNIS, K. - BROKA, Z. - PETRICHENKO, R. - VARFOLOMEJEVA, R. 2016: Optimal investment and operational planning of a storage power plant. *International Journal of Hydrogen Energy*, 41, pp. 12443-12453.
- SIOSHANSI, F.P. 2016: California's 'Duck Curve' Arrives Well Ahead of Schedule. *The Electricity Journal*, 29, pp. 71-72. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.tej.2016.07.010
- STAROSOLSZKY, Ö. 1973: *Vízépítés (Hydraulic Engineering)*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest.